

**Compte-rendu de l'Atelier PIRSTEC-NeuroComp :
Sciences et technologies de la cognition par la modélisation neuronale**

16 juin 2009

Participants : F. Alexandre, H. Berry, T. Boraud, L. Bougrain, P. Capdepuy, O. Coenen, J. Droulez, P. Gaussier, B. Girard, S. Girault, J. Henry, M. Maier, A. Palacios, H. Paugam-Moisy, N. Rougier, F. Ruffier, S. Saighi, J.-M. Salotti, T. Viéville

En complément des textes et des supports d'exposés, quelques notes sur nos débats.

En **introduction**, rappel du contexte de ce travail de prospective pour PIRSTEC avec en premier lieu des propositions de thématiques pour de futurs Appels à Projets de l'ANR, mais aussi des analyses des forces et des faiblesses de notre communauté. Egalement, rappel de la procédure suivie : enquête dans la communauté, réponses d'équipes représentant une centaine de permanents ; une dizaine de thèmes sélectionnés, préparés et présentés oralement à cet atelier pour initialiser les débats. Excellente ambiance et, surtout, consensus clair sur notre analyse du domaine.

Avant de reprendre les thèmes abordés, nous rappelons le positionnement de notre communauté et soulignons les sujets évoqués de façon transversale lors de l'atelier et qui nous semblent essentiels :

Positionnement de la communauté sur le sujet

"Aborder la cognition par la modélisation neuronale":

Le système nerveux étant le siège de la cognition, l'étude du cerveau et de ses fonctions (neurosciences intégratives) est au centre d'une compréhension effective de ces mécanismes. Un nombre important d'équipes de neurosciences computationnelles déclarent participer à cette approche (mais pas toutes: l'étude du cerveau a d'autres buts) et cette démarche a un certain nombre d'originalités, en particulier car elle propose d'aborder la cognition:

- avec une approche systémique où l'environnement est dans la boucle (quitte à commencer avec des systèmes biologiques rudimentaires);
- avec des formalismes de calcul solides (théorie de l'information, systèmes dynamiques, statistiques) sous leurs aspects théoriques aussi bien qu'expérimentaux (mathématiques, physiques, calcul scientifique, informatique);
- en proposant des cadres d'étude stricts (systèmes véritablement autonomes, en situation d'auto-apprentissage, définis par des modèles falsifiables);
- dans des coopérations multidisciplinaires (des sciences de l'information aux sciences biologiques);
- en association avec les sciences du vivant à de multiples échelles d'espace et de temps et avec une gamme très large de plateformes expérimentales;
- en proposant de valoriser ces recherches par des réalisations logicielles et matérielles avec des retombées potentielles dans le monde de la santé et de l'éducation (mais aussi bien sûr des STIC et des SDV).

Sujets évoqués transversalement lors de l'atelier:

-l'importance et la difficulté de la pluridisciplinarité :

L'importance : l'argument est simple : toutes les approches évoquées ici ne peuvent se développer qu'en synergie entre domaines des STIC et des SDV avec parfois besoin d'ouverture sur d'autres domaines.

La difficulté : appels à projets asservissant un domaine à un autre ; différence des critères d'évaluation entre les domaines ; importance de la durée (10 ans ?) pour construire une vraie collaboration entre STIC et SDV ; de telles difficultés impactent en particulier les jeunes chercheurs (une thèse avec expérimentation et modélisation est plus longue à mener ; évaluation biaisée des publications dans des domaines avec des critères différents) ; manque de formations réellement multidisciplinaires.

Remèdes proposés (en vrac): faire des appels à projets équilibrés où tous les domaines contribuent également ; imaginer des structures ou des modes de fonctionnement où des collaborations peuvent s'installer dans la durée ; encourager des Ecoles Doctorales multidisciplinaires ; créer des revues multidisciplinaires ou faire des « Special Issues » de grandes revues ; introduire des modules d'autres disciplines en Master (en particulier des enseignements « Comp » en Bio) ; Favoriser les « lieux » de formation, de recherche, de financement, d'échanges où ces domaines se rencontrent (ex : NeuroComp, Pgmme NeuroInformatique du CNRS, appel à projets STIC-SDV, etc.)

-les discussions sur plusieurs thèmes mettent en avant le fait que « **travailler à la marge de la cognition** » peut aider à mieux comprendre la cognition dans un cadre moins complexe ou créer un environnement où des modèles cognitifs peuvent se développer plus facilement. C'est par exemple le cas de boucles sensorimotrices simples pouvant amorcer des comportements complexes ; de l'étude d'animaux jugés peu cognitifs (ex : unicellulaires, invertébrés) mais qui permettent d'aborder et de mieux comprendre (dans un cadre (relativement) simplifié) des phénomènes d'émergence ou d'interaction ; de toutes les approches « incrémentales » dont le but est de créer des « échafaudages » pour construire des niveaux plus cognitifs sur des bases plus réactives ; de sujets d'études multi-échelles conjoints avec des approches microscopiques (biologie cellulaire, moléculaire) ;

Les mots clés qui semblent émerger :

-Autonomie : on se pose des questions profondes et fondamentales sur la cognition en essayant de se donner les moyens de créer des systèmes physiques autonomes évolutifs capables de décision en interaction avec le monde

-Multi-échelle : besoin d'intégration, de passerelles entre les échelles de description ; ceci peut justifier l'intérêt du niveau neuronal qui offre aisément des ouvertures vers le moléculaire et le comportement ou vers la msec et l'année. Développer des démarches multi-échelles pertinentes pour l'étude de la cognition reste un enjeu important.

-Réfléchir sur la démarche de modélisation : liens mathématique-modélisation-expérimentation ; calcul distribué et embarqué ; couplage de formalismes ; rapport aux données et aux modèles ;

Thèmes abordés :

(se reporter également aux textes et aux supports d'exposés pour les détails)

* Cinq défis scientifiques:

o les boucles sensorimotrices et les associations perception-action. Ruffier / Girard

- En un mot, le but de cette approche : rendre la robotique réelle (voir des robots dans les

rués) ; la méthode proposée : faire simple avant (ou en plus) de faire compliqué (comprendre des boucles sous-corticales simples, robustes, temps-réel avant de développer (ou venant en support de) des modèles cognitifs complexes. De plus, ces boucles simples peuvent servir de réflexes ou de mécanismes d'exploration élémentaire à ces modèles complexes.

- Pour faire de la robotique réaliste sur des applications effectives, comment se donner les moyens technologiques ? Créer des plateformes mutualisées ? Convenir de standards et de matériels unifiés ?
- Quelle est l'actualité de ces idées déjà anciennes ; comment convaincre les industriels et certains biologistes ? En insistant en particulier sur les nouvelles connaissances biologiques et sur des réalisations phares.
- Problème de définition du domaine : « Robotique » n'est pas forcément le meilleur terme (déjà pris) pour évoquer le développement de systèmes autonomes cognitifs bio-inspirés : Neuro-robotique ?
- Il faut développer en priorité cette approche qui peut fournir rapidement des systèmes efficaces et simples. De plus, comment développer des architectures "multi-boucles" à plusieurs niveaux si nous sommes encore en train de développer les fondements liés aux boucles locales primitives ?
- La locomotion n'est qu'un exemple de familles de tâches (plus précoce phylogénétiquement) ; il faut aussi considérer les autres tâches, ex: manipulation, etc...

o les mécanismes de sélection de l'action et de la décision. 'Girard / Boraud'

- Importance du phénomène cognitif considéré (la décision) et compréhension actuelle trop rudimentaire
- Il faut sortir de la restriction « processus action/décision corticale » et inclure les structures sous corticales (ganglions de la base) dans l'analyse.
- Porter nos efforts communs sur la compréhension des ganglions de la base, domaine en plein développement (données, modèles, ..) et bien couvert en France devrait être une priorité, au niveau des appels et des moyens.
- On note que l'observation des structures profondes (IRM, électrophysio) ne pose pas de problèmes qualitativement différents du cortex.
- Impact pour les pathologies (ex : parkinson), mais aussi perspective d'utiliser les connaissances et modèles action/décision pour les aspects BCI dès que les aspects moteurs de base seront maîtrisés en BCI

o la multimodalité et la fusion sensorielle. 'Gaussier / Droulez'

- Une thématique classique et ancienne au niveau des cadres génériques, mais peut-être moins approfondie au niveau de la prise en compte des éléments concrets de chaque modalité.
- Ou dans un cadre comportemental défini, qui est peut-être la perspective à mettre en avant.
- Le lien entre fusion multimodale et boucles sensori-motrices est un point clé (il reste des problèmes ouverts : problème de codage, de trace des états passés)
- Le problème systémique global (architecture, etc..) est devant nous.

o des études multi-échelles (choix du niveau de description; interfaces entre ces niveaux). Berry / Alexandre

- Comment utiliser au mieux des développements scientifiques (expérimental et théorique) à différents niveaux de description ? travailler aux interfaces ; faire des modèles multi-échelles ?
- Comment faire circuler la connaissance entre les niveaux ? Approches bottom-up et top-down. En particulier, on ne profite pas assez de l'énorme source d'information des niveaux les plus microscopiques
- Les comportements de base comme la locomotion, l'approche/répulsion méritent d'être étudiés sur des êtres très basiques: unicellulaires, animaux avec des neurones identifiés (<10³ neurones).
- Développer des outils et des bases de connaissances standards en modélisation: au delà de ModelDB ou NeuroML
- Ne pas oublier les différentes échelles temporelles qui accompagnent les échelles spatiales (mais sont orthogonales)

o l'apprentissage sous plusieurs aspects: développemental: continu. Alexandre / Salotti

- Améliorer les modèles d'apprentissage neuronaux (affiner les aspects spatiaux et temporels); savoir faire coopérer des systèmes de mémoires de types différents ; les implanter sur des systèmes physiques réellement autonomes.
- Peut-on lancer le défi du robot entièrement autonome qui ne serait en rien supervisé, juste en interaction avec l'environnement (= sans [re]intervenir dans le substrat) ? Même si ça reste irréaliste à court terme, ça reste une cible à viser.
- Approche incrémentale avec focus sur l'apprentissage développemental ou choix, comme brique de connaissance, des organismes simples : ver de terre, paramécie ou macrophage (qui ont les mécanismes moléculaires similaires aux neurones)
- Mieux apprendre: peut on mieux enseigner aux humains à partir de ce que nous comprenons en neurocomp ? Neurosciences + IntelligenceArtificielle vers les neurosocio.
- La multi-disciplinarité inclut ici aussi d'autres professions, ex: didacticiens: un carrefour de disciplines au delà des neuros/compts/etc..

* Quatre familles méthodologies:

o L'utilité des propriétés physiques des systèmes hardware et robotique dans le calcul neuronal. Saïghi / Gaussier

- tester la cohérence d'un modèle dans des conditions réalistes d'utilisation (pb d'intégration + pb de dynamiques émergeant des interactions avec l'environnement).
- prendre en compte "l'intelligence" du hardware (selon le hardware utilisé, on peut avoir gratuitement un certain nombre de propriétés: le problème à résoudre change)
- Profiter des lois physiques qui gouvernent l'électronique pour obtenir une simulation profonde des systèmes biologiques, avec des interfaces in-silico/in-vitro/in-vivo.
- Profiter des lois de la mécatronique (intelligence de la mécanique, des capteurs) pour faire des systèmes performants avec des systèmes de contrôle hybrides : le défi est de l'inclure dans du plus haut niveau: quelle formalisation ?
- De nombreux aspects de la cognition reposent sur le couplage dynamique du corps et de l'environnement : importance de l'approche incarnée et de l'utilisation de robots.
- Doter le robot de moyens de communication avec son environnement pour enrichir les interactions

o expérimentations en électrophysiologie et comparaisons de modèles avec les données des neurosciences Maier / Boraud

- Comment (bien) extraire des connaissances à partir des données ?
- Optimisation des paradigmes expérimentaux et couplant analyse des données et modélisation pendant l'expérimentation, économie du matériel animal, introduction d'un nouveau lien modèle données.
- Notion de modèle qui peut être réfutable expérimentalement, démarche de re-mathématisation à chaque boucle (modèle de modèle), modèle qui donne le nombre critique de paramètres
- Enjeu technologique important de savoir enregistrer en multi (beaucoup)-électrodes
- Importance de la formation pluridisciplinaire (bio et comp.)
- Liens avec le BCI

o imagerie humaine et constructions de dispositifs interactifs cerveau/ordinateur Viéville / Maier

- Imagerie : vers le scanner neuronal multimodal (l'imagerie chez l'animal peut aider à progresser)
- BCI : le faire pour de vrai (applications réalistes)
- Transfert des techniques vers la clinique (au delà de Albani et Tubingen) avec la difficulté de sujets multi-lésés, d'environnements bruités et hostiles pour les signaux: gros enjeux technologiques et de coût de production
- Forte poussée de l'industrie des jeux vers le BCI : un vecteur de développement. Quelle vraie plus value de l'interface BCI par rapport aux autres entrées/sorties pour l'informatique ?

- Quel lien entre informations non invasives et mesures intra-craniennes ? Pour minimiser ensuite l'invasivité ?
- L'analyse de l'imagerie optique est probablement une priorité.

o formalisation dans des cadres rigoureux (ex: systèmes dynamiques, théorie de l'information)
Droulez / Viéville

- On voit émerger des approches qui réconcilient les trois grandes classes de modèles géométriques / fonctionnels / probabilistes et cela est probablement la prochaine étape pour ce volet
- Dans l'étude d'échelles spatiales, ne pas hésiter à aller voir « aux bords » : biologie moléculaire et comportement/neuropsychologie (cf multi-échelle)
- La falsifiabilité reste un problème qui ne semble pas pris en compte sauf rare exception
- L'innovation peut aussi venir de vrais mathématiciens qui vont ré-inspirer les modélisateurs: physique statistique, géométrie différentielle, etc..
- Vive les modèles qui ne marchent pas: ils peuvent aider à remettre en cause les faits des biologistes; ne pas auto-censurer les modèles par [ce que nous croyons aujourd'hui des] modèles biologiques: de l'audace !